

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 599 606**

21 Número de solicitud: 201601097

51 Int. Cl.:

**G01K 11/32**

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**20.12.2016**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**02.02.2017**

Fecha de concesión:

**01.06.2017**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**08.06.2017**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (100.0%)  
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n  
39005 Santander (Cantabria) ES**

72 Inventor/es:

**RODRIGUEZ COBO, Luis y  
LÓPEZ HIGUERA, José Miguel**

54 Título: **Dispositivo basado en fibra óptica y redes de difracción para la medida de temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica, y proceso de fabricación**

ES 2 599 606 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP 11/1986.

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 599 606**

21 Número de solicitud: 201601097

57 Resumen:

Dispositivo (10, 20, 30, 40) basado en fibra óptica (11, 21, 31, 41) para la medida de temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica (11, 21, 31, 41), empleando redes de difracción (12, 22, 32) y sometido a un proceso de encapsulado, que comprende:

- un elemento óptico de transducción consistente en una fibra óptica (11, 21, 31, 41) en la que en una zona de la misma está inscrita una red de difracción (12, 22, 32);
- un recubrimiento interior (13, 23, 33) que reviste el elemento óptico de transducción;
- un bloque de protección exterior (14, 24, 34) en cuyo interior se sitúa el elemento óptico de transducción revestido por el recubrimiento interior (13, 23, 33);
- tantas protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) como orificios presenta el bloque de protección exterior (14, 24, 34), ancladas al bloque de protección exterior (14, 24, 34);
- al menos un soporte (16, 26, 36) unido al bloque de protección exterior (14, 24, 34);

Un proceso de fabricación del dispositivo (10, 20, 30, 40) que comprende las etapas de: inscribir la red de difracción (12, 22, 32) en la fibra óptica (11, 21, 31, 41), aplicar el recubrimiento interno, aplicar el bloque de protección exterior (14, 24, 34), incorporar las protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) y aplicar el soporte (16, 26, 36).

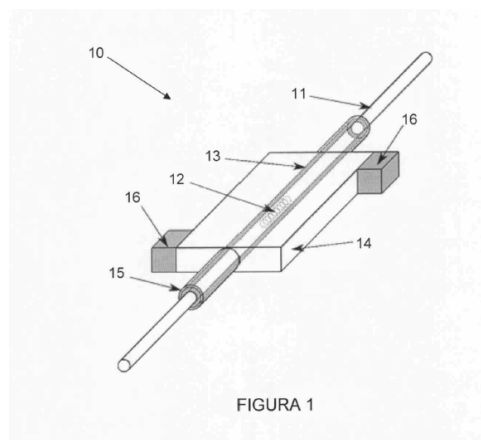


FIGURA 1

ES 2 599 606 B2

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo basado en fibra óptica y redes de difracción para la medida de temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica, y proceso de fabricación.

5

### Campo de la invención

La presente invención pertenece al campo de los dispositivos para la medida de altas temperaturas (temperaturas de hasta aproximadamente 500°C), y, más concretamente, al  
 10 campo de los dispositivos basados en fibra óptica para la medida de muy altas temperaturas (temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica, típicamente los 1200°C en fibras ópticas estándar), empleando redes de difracción y sometido a un proceso de encapsulado.

### 15 Antecedentes de la invención

En la actualidad existen una gran variedad de dispositivos para medir la temperatura, basados en multitud de tecnologías y orientados a infinidad de aplicaciones diferentes. No obstante, a medida que se incrementa la temperatura de trabajo, las diferentes  
 20 opciones se reducen. El método más extendido para medir a altas temperaturas ( $T_{\max} \sim 500^{\circ}\text{C}$ ) es el conocido como termopar, en el que se mide la variación de voltaje provocada por la diferencia de temperatura en la unión de dos metales. Sin embargo, esta tecnología presenta ciertas limitaciones como su precisión o su vulnerabilidad a interferencias electromagnéticas, motivos por los que se fomenta el uso de nuevas  
 25 técnicas de fibra óptica.

La medida de temperatura con fibra óptica es una disciplina ampliamente trabajada durante los últimos años. Debido a esto, existen numerosas técnicas tales como interferómetros en fibra, redes de difracción e incluso sistemas distribuidos capaces de  
 30 obtener la temperatura en cada punto de la fibra. No obstante, teniendo en cuenta las limitaciones de cada técnica, destacan por su versatilidad y fiabilidad las redes de difracción, y en particular las redes de difracción de periodo corto o de Bragg (del inglés, *Fiber Bragg Gratings* FBGs) [Kashyap. R. (1999). *Fiber bragg gratings*. Academic press].

Estas redes de difracción de periodo corto consisten en una variación periódica del índice de refracción del núcleo de la fibra que provoca la reflexión de aquellas longitudes de onda que cumplen las condiciones de resonancia de Bragg. Dicha resonancia es proporcional al período de cada PBG y se selecciona durante la fabricación, por lo que se  
 35 pueden conectar varios FBG en serie, reflejando cada uno de ellos una longitud de onda diferente (multiplexación en longitud de onda), obteniendo un transductor quasi-distribuido capaz de medir en varios puntos, empleando una única fibra óptica. Este tipo de estructuras se utilizan ampliamente para la medida de deformación y temperatura desde hace más de dos décadas, presentando muy diferentes configuraciones y prestaciones. No obstante, si bien es cierto que los FBGs son una técnica muy estable,  
 40 pueden aparecer efectos no deseados cuando son sometidos a temperaturas superiores a 500°C, dependiendo del método de inscripción en la fibra.

La inscripción empleando láseres de alta intensidad, como por ejemplo técnicas basadas en inscripción punto a punto (sin necesidad del patrón de interferencia) permite obtener  
 50 estructuras capaces de resistir muy altas temperaturas ( $T_{\max} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ) sin necesidad de un tratamiento térmico posterior [US7835605B1, US8272236B2]. Sin embargo, si bien es

cierto que las investigaciones relacionadas con la medida de alta temperatura mediante fibra óptica se han centrado en sus propiedades ópticas, al someter la fibra a los tratamientos más extremos (con láser, de alta energía), esta se vuelve extremadamente frágil, pudiendo ser empleada solo en entornos muy controlados, ya que degrada en exceso la fibra mecánicamente. Es decir, este tipo de inscripción sólo se centra en el aspecto óptico, descuidando el aspecto mecánico.

Por otro lado, el método más extendido para la inscripción de FBGs, es la exposición a un patrón de interferencia centrado en el ultravioleta que provoca un cambio de índice de refracción en el núcleo de la fibra. Este método de inscripción, emplea láseres de baja intensidad lo que permite que la fibra óptica presente suficiente integridad mecánica a temperatura ambiente. No obstante, cuando el cambio de índice de refracción se obtiene mediante este método, al incrementar la temperatura del FBG se produce una degradación de dicha modulación, llegando a "borrar" dicha modulación. Este efecto, suele ocurrir en fibras normales de telecomunicación entorno a los 600°C y limita el uso de estos dispositivos. Para mitigar esta limitación, destacan principalmente dos tratamientos térmicos que consiguen estabilizar el comportamiento óptico de FBGs inducidos por exposición ultravioleta.

El primero consiste en hacer un envejecimiento térmico del FBG (*annealing*) [Rodríguez-Cobo, L., & Lopez-Higuera. J M. (2016). *SLM Fiber Laser Stabilized at High Temperature. IEEE Photonics Technology Letters*. 28(6), 693-696], con el fin de minimizar su degradación con la temperatura [US7499605B1]. Mediante este envejecimiento, se consigue incrementar la longevidad del FBG a temperaturas altas, aunque sólo puede ser aplicado cuando la temperatura de operación del FBG está por debajo de su borrado (p.ej 500°C).

El segundo método se basa en un fenómeno conocido como "regeneración", consistente en aplicar una mayor temperatura al FBG (por encima de la del borrado), hacer desaparecer el FBG y obtener de nuevo una respuesta similar centrada en una longitud de onda parecida [Canning. J. Cook. K., Aslund, M., Stevenson, M., Biswas, P., & Bandyopadhyay, S. (2010). *Regenerated fibre Bragg gratings. INTECH Open Access Publisher*]. Con este mecanismo, los cambios de índice de refracción del material se transforman en cambios permanentes en el material con el mismo periodo que el FBG semilla, por lo que sus propiedades ópticas no se borran al incrementar otra vez la temperatura por encima de 500-600°C. En el proceso de regeneración influyen multitud de parámetros por lo que no existe un único proceso para regenerar, existiendo diversas variantes, en las que generalmente se mantiene la temperatura estable por encima del umbral de regeneración (que depende de diversos factores como el tipo de fibra, la presencia de hidrógeno...) durante varias horas, provocando el borrado y la regeneración del espectro óptico del FBG [Lindner, E., Chojetzki, C., Bruckner, S., Becker. M., Rothhardt, M. & Bartelt. H. (2009). *Thermal regeneration of fiber Bragg gratings in photosensitive fibers. Optics express*. 17(15), 1 2523-12531]. [Lindner. E., Canning. J., Chojetzki, C., Bruckner. S. Becker. M., Rothhardt. M. & Barre/t. H (201 1). *Thermal regenerated type IIa fiber Bragg gratings for ultra-high temperature operation. Optics Communications*. 284(1). 183-185]. [WO2015181419A1]. Aunque no es el único método para obtener FBGs resistentes a altas temperaturas, la regeneración es la que exige menor complejidad durante la inscripción del FBG, por lo que es más fácilmente escalable. Sin embargo, este tratamientos térmicos generalmente requiere elevar la temperatura de la fibra por encima de los 800-1000°C por lo que esta se vuelve

extremadamente quebradiza, aunque sus propiedades ópticas se estabilicen para altas temperaturas.

Es decir, la inscripción empleando láseres de alta intensidad y la inscripción mediante un patrón de interferencia centrado en el ultravioleta y sometido a un tratamiento térmico posterior, son muy agresivas para la fibra óptica, descuidando en ambos casos el aspecto mecánico.

En el caso de los dispositivos existentes para la medida de temperaturas de hasta aproximadamente 300-400°C, se procede a un encapsulado de la fibra óptica con materiales termo-moldeables y/o pulverizables con el objetivo de proteger la fibra. Por ejemplo, es habitual la utilización de polyimida para conseguir medir temperaturas de hasta 300°C o de aluminio para temperaturas de hasta 400°C. Sin embargo, la utilización de este tipo de encapsulado, en dispositivos capaces de medir hasta muy altas temperaturas (inscripción empleando láseres de alta intensidad e inscripción mediante un patrón de interferencia centrado en el ultravioleta y sometido a un tratamiento térmico posterior) para dotarles de rigidez mecánica no es viable, y su adaptación a este tipo de dispositivos conlleva una serie de inconvenientes que actualmente no se han podido superar.

En primer lugar, los materiales de protección de la fibra tienen que resistir muy altas temperaturas (p. ej. varias horas por encima de 1000°C) limitando tanto los posibles materiales a emplear como su geometría etc. Por otro lado, los materiales capaces de resistir muy altas temperaturas exigen que la fibra óptica se adapte al encapsulado, por lo que surgen los cortes por cizalladura y la necesidad de encastrado mecánico. Por último, la utilización de materiales que soporten muy altas temperaturas dificulta el aislamiento de tensiones y fuerzas sobre la fibra óptica

En US6923048B2, se propone un método para monitorizar partes de un motor analizando la deformación y/o temperatura mediante FBGs. Sin entrar a detalles de cómo obtener una respuesta óptica estable hasta 1200°C, se propone embeber los FBGs en metal siendo sensibles a cambios en la deformación y temperatura, actuando este metal como protección física y térmica de la fibra. Sin embargo, en este documento no se menciona como tiene que ser el encapsulado, ni su proceso de fabricación, ni se comenta cómo dar estabilidad a la fibra óptica.

En resumen, de la revisión del estado de la técnica relacionada con la medida de altas temperaturas ( $T_{\max} \sim 500^{\circ}\text{C}$ ) y muy altas temperaturas ( $T_{\max} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ) mediante fibra óptica se pueden extraer las siguientes conclusiones.

- Los sistemas descritos sólo se centran o en el aspecto óptico o en su protección mecánica, presentando generalmente requisitos incompatibles
- Existen diversas técnicas para la medida de altas temperaturas con fibra óptica, siendo la más productiva la inscripción con láser ultravioleta y el posterior tratamiento térmico, lo cual limita su posible embebido.
- No se abordan los métodos de instalación de los dispositivos de muy alta temperatura, salvo que la fibra sea embebida en alguna parte de la estructura, aunque no se menciona cómo.

Asimismo se identifican las siguientes necesidades

- 5 • Diseñar encapsulados capaces de soportar tanto la operación como los posibles tratamientos térmicos necesarios para obtener dispositivos ópticos estables (p.ej. regeneración de FBGs)
- Definir métodos de entrada (salida) al (del) dispositivo que eviten roturas de la fibra óptica.
- 10 • Determinar métodos de anclaje e/o instalación de los dispositivos al lugar a monitorizar.

### Resumen de la invención

- 15 La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un dispositivo basado en fibra óptica y redes de difracción para la medida de temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica, y su proceso de fabricación.
- 20 Concretamente, en un primer aspecto de la invención se proporciona un dispositivo basado en fibra óptica para la medida de temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica, empleando redes de difracción y sometido a un proceso de encapsulado, que comprende:
- 25 - un elemento óptico de transducción consistente en una fibra óptica en la que en una zona de la misma está inscrita una red de difracción, siendo aquella zona del elemento óptico de transducción en la que se encuentra inscrita la red de difracción, la zona de transducción;
  - 30 - un recubrimiento interior que reviste el elemento óptico de transducción al menos en la zona de transducción, configurado para ejercer de capa intermedia que evita que ninguna tracción/presión sea transmitida a la fibra óptica, protegiendo las zonas débiles de la fibra óptica y evitando posibles fallos en la medida provocados por la deformación;
  - 35 - un bloque de protección exterior, que presenta al menos un orificio, en cuyo interior se sitúa el elemento óptico de transducción revestido por el recubrimiento interior, tal que al menos un extremo de la fibra óptica se sitúa en el exterior del bloque de protección exterior atravesando dicho al menos un orificio, permaneciendo la zona de transducción en el interior del bloque de protección exterior, tal que la fibra óptica puede disponerse en
  - 40 diferentes geometrías, estando el bloque de protección exterior configurado para la sujeción mecánica y protección de todo el conjunto, es decir, presenta unas propiedades mecánicas que no se degradan. y presenta un espesor cuyo rango está comprendido entre varios milímetros y varios centímetros:
  - 45 - tantas protecciones de entrada/salida como orificios presenta el bloque de protección exterior, con aberturas cuyo diámetro es tal que permite el paso de la fibra óptica por su interior, y que se encuentran ancladas al bloque de protección exterior, de tal forma que cada protección de entrada/salida se sitúa de manera que su abertura sea concéntrica con uno de los orificios del bloque de protección exterior, de tal forma que el al menos un
  - 50 extremo de la fibra óptica que se encuentra en el exterior del bloque de protección exterior, está recubierto, en la parte más en contacto con dicho bloque de protección

- 5 exterior, por una protección de entrada/salida. tal que dichas protecciones de entrada/salida presentan una menor resistencia mecánica que el bloque de protección exterior, lo que permite una flexión parcial cuando se deforma la fibra óptica, evitando cortes por cizalladura, y tal que las protecciones de entrada/salida ofrecen una rigidez gradual a medida que se alejan del bloque de protección exterior, siendo las zonas más cercanas al bloque de protección exterior más rígidas, mientras que las más lejanas se doblan con más facilidad con el fin de no romper la fibra óptica:
- 10 - al menos un soporte unido al bloque de protección exterior, configurado para anclar el dispositivo a la superficie sobre la que desee realizar la medida;
- 15 estando el dispositivo configurado para poder conectarse a un equipo de interrogación externo; y/o en serie con otros dispositivos, empleando la fibra óptica como canal, y centrado cada uno en una longitud de onda diferente, permitiendo la medición de varios puntos de temperatura a la vez.
- En una posible realización, el elemento óptico de transducción es una red de difracción de periodo corto inscrita en fibra óptica estándar de telecomunicaciones.
- 20 En una posible realización, el recubrimiento interior presenta un espesor inferior a 0.5 mm y una rugosidad inferior a 5  $\mu\text{m}$ , de tal forma que no provoque irregularidades en la zona de transducción.
- 25 En una posible realización, el recubrimiento interior reviste la totalidad del elemento óptico de transducción.
- 30 En una posible realización, el recubrimiento interior es cerámico, y con un espesor comprendido entre los 20 y los 500 micrómetros. Alternativamente, el recubrimiento interior es un tubo de 0.4 mm de diámetro, de acero inoxidable y está fijado a la fibra óptica con pegamento cerámico. Alternativamente, el recubrimiento interior es una capa cerámica, moldeada con la forma deseada.
- 35 En una posible realización, el bloque de protección exterior presenta dos orificios, tal que el elemento de transducción revestido se sitúa en el interior del bloque de protección exterior atravesando ambos orificios, de modo que la zona de transducción permanece en el interior del bloque de protección exterior y los extremos de la fibra óptica en su exterior.
- 40 En una posible realización, las protecciones de entrada/salida presentan una forma cilíndrica.
- 45 En una posible realización, las protecciones de entrada/salida son dos tubos metálicos de acero o tungsteno superpuestos de diferente longitud que permiten flexionar la parte exterior más que la interior. Alternativamente, las protecciones de entrada/salida son un refuerzo en forma de filamento cerámico, tal que el filamento es más grueso en la zona más cercana al bloque de protección exterior.
- En una posible realización, el soporte está basado en aprisionamiento mecánico.
- 50 En otro aspecto de la invención, se proporciona un proceso de fabricación del dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores. El proceso comprende las

etapas de: inscribir la red de difracción en la fibra óptica, aplicar el recubrimiento interno, aplicar el bloque de protección exterior, incorporar las protecciones de entrada/salida y aplicar el soporte.

- 5 En el caso de que la inscripción se realice mediante un patrón de interferencia centrado en el ultravioleta el proceso comprende además la etapa de someter al dispositivo a un tratamiento térmico, siendo esta etapa posterior a la incorporación de cualquier protección -recubrimiento interior, bloque de protección exterior, protecciones de entrada/salida y soporte-, siempre y cuando estas sean de un material resistente a muy  
10 altas temperaturas, o con anterioridad a la incorporación de cualquier protección cuyo material sea no resistente a muy altas temperaturas.

### **Breve descripción de las figuras**

- 15 Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma. un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

- 20 La figura 1 muestra un esquema del dispositivo de la invención, de acuerdo a una posible realización.

La figura 2 muestra un esquema del dispositivo de la invención, de acuerdo a una posible realización.

- 25 La figura 3 muestra un esquema del dispositivo de la invención, de acuerdo a una posible realización.

La figura 4 muestra varios dispositivos de la invención conectados en serie.

- 30 **Descripción detallada de la invención**

- En este texto, el término "comprende" y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas,  
35 aditivos, componentes o pasos.

- Además, los terminas "aproximadamente", "sustancialmente", "alrededor de", "unos", etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos terminas acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos  
40 valores con total exactitud.

- Además, en el contexto de la presente invención se entiende por alta temperatura aquel rango de temperaturas cuya temperatura máxima son 500°C. Además, se entiende por muy alta temperatura aquel rango de temperaturas cuya temperatura máxima son  
45 1200°C.

- Las características del dispositivo de la invención, así como las ventajas derivadas de las mismas, podrán comprenderse mejor con la siguiente descripción, hecha con referencia a  
50 los dibujos antes enumerados.



Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

A continuación se describe el dispositivo de la invención, y su método de fabricación, basado en fibra óptica para la medida de temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica (típicamente 1200°C en fibras ópticas estándar), empleando redes de difracción y sometido a un proceso de encapsulado, de acuerdo con el esquema del mismo de la figura 1. Este dispositivo cumple tanto los requisitos de ópticos para la medida de altas temperaturas ( $T_{\max} \sim 500^{\circ}\text{C}$ ) y muy altas temperaturas ( $T_{\max} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ) como su implementación mecánica, habilitando su posterior instalación en entornos agresivos.

El dispositivo 10 comprende un elemento óptico de transducción consistente en una fibra óptica 11 en la que en una zona de la misma está inscrita una red de difracción 12. Preferentemente, el elemento óptico de transducción es una red de difracción 12 de periodo corto (FBG) inscrita en fibra óptica 11 estándar de telecomunicaciones (G652 o G657). En el contexto de la presente invención se entenderá por zona de transducción a aquella zona del elemento óptico de transducción en la que se encuentra inscrita la red de difracción 12.

En la mayoría de los casos, para la inscripción de una red de difracción (en particular FBG) inscrita en fibra óptica (en particular una fibra óptica comercial de sílice) se retira el recubrimiento (típicamente plástico) dejando al descubierto unos 5-30 mm de sílice de la fibra. Al retirar este recubrimiento de forma mecánica (empleando un utensilio para ello, similar a un alicate) se pueden introducir daños microscópicos en la superficie de la fibra que pueden propagarse al aplicar alguna tensión, realizando un corte por cizalladura en la fibra. Con el fin de minimizar estos problemas, es recomendable para esta técnica emplear técnicas químicas o por temperatura para eliminar la protección plástica de la fibra. En cualquier caso, cualquiera de estas técnicas es ampliamente conocida y queda fuera del alcance de la presente invención. Una vez retirada la protección, se somete la fibra al proceso de grabado del FBG (de una longitud típica de 5-20mm), bien sea por exposición a luz ultravioleta o por otros medios (por ejemplo, inscripción punto a punto con un láser de alta intensidad). La mayoría de sistemas actuales se graba transversalmente a la fibra, siendo la opción más viable para tal fin, independientemente del tipo de láser y modo de inscripción (punto a punto, ultravioleta...).

Por otro lado, y como se ha comentado anteriormente, cuando el elemento óptico de transducción empleado es inestable a altas temperaturas (p.ej. redes de difracción grabadas con luz ultravioleta) se requiere un tratamiento térmico, como por ejemplo de regeneración, para garantizar la estabilidad óptica del elemento de transducción.

Un posible método de regeneración, consiste en introducir hidrogeno en la fibra óptica (sumergiendo la fibra óptica a una alta presión de  $\text{H}_2$ , p.ej 20 bares), aplicar un pre-tratamiento térmico a baja temperatura (p.ej 1 hora a 2000C), incrementar la temperatura por encima del umbral de regeneración durante otro intervalo (p.ej 4 h a 1000°C) y devolver al FBG a temperatura ambiente. Con el fin de garantizar la integridad mecánica del FBG, es necesario que la fibra este protegida mecánicamente antes de

realizar tratamientos térmicos agresivos (p.ej por encima de 800°C) o mecanizados con láseres de alta intensidad. En cualquier caso, un experto en la materia entenderá que el tratamiento térmico empleado queda fuera del alcance de la presente invención.

- 5 Estos tratamientos térmicos posteriores a la inscripción mediante un patrón de interferencia centrado en el ultravioleta generalmente requieren elevar la temperatura de la fibra por encima de los 800-1000°C por lo que esta se vuelve extremadamente quebradiza, aunque sus propiedades ópticas se estabilicen para altas temperaturas. Por otro lado, la inscripción empleando láseres de alta intensidad es muy agresiva para la fibra óptica, por lo que la fibra también se vuelve quebradiza al descuidar el aspecto mecánico.

15 Para solucionar este inconveniente, en la presente invención se realiza un encapsulado del elemento óptico de transducción con diferentes elementos: recubrimiento interior 13, bloque de protección exterior 14, protecciones de entrada/salida 15 y soporte 16. Estos elementos están hechos de materiales resistentes a muy altas temperaturas, como por ejemplo algunos metales (tungsteno o acero) y materiales cerámicos, con el objetivo de proteger al elemento óptico de transducción durante su operación y soportar las condiciones térmicas durante la fabricación del dispositivo 10. Como se ha comentado anteriormente, este encapsulado no es trivial pues es preciso superar una serie de inconvenientes existentes, como por ejemplo: selección de los materiales a utilizar y geometría, dificultad al adaptar la fibra óptica al encapsulado (cortes por cizalladura, necesidad de encastrado mecánico...) o dificultad de conseguir el aislamiento de tensiones y fuerzas sobre la fibra óptica.

25 El elemento óptico de transducción se encuentra revestido al menos en la zona de transducción, preferentemente se encuentra revestido en su totalidad, por un recubrimiento interior 13 configurado para proporcionar la primera protección mecánica al elemento óptico de transducción. Preferentemente, este recubrimiento interior 13 presenta un espesor inferior a 0.5 mm y una rugosidad muy baja (p. ej.  $R_a < 5 \mu m$ ) de tal forma que no provoque irregularidades en la zona de transducción y no perjudique la medida.

35 El recubrimiento interior 13 es necesario incluso aunque la fibra óptica 11 con la red de difracción 12 inscrita presente suficiente integridad mecánica a temperatura ambiente (por ejemplo porque la red de difracción 12 se ha inscrito con láseres de baja intensidad, típicamente en el ultravioleta), y tiene dos finalidades: a) proteger la fibra óptica 11 desnuda durante el proceso de fabricación del dispositivo 10; y b) aislar la fibra óptica 11 de posibles tensiones, siendo más fácil evitar la rotura de la fibra 11 durante el uso del dispositivo 10 (por ejemplo, cuando esta fibra 11 se incorpora en algunos materiales cerámicos, al estar sujeto a muy altas temperaturas y aplicar una ligera tensión, puede provocarse una rotura por cizalladura con un borde cortante). Es decir, este recubrimiento interior 13 ejerce de capa intermedia que evita que ninguna tracción/presión sea transmitida a la fibra óptica 11, protegiendo las zonas débiles de la fibra óptica 11 y evitando posibles fallos en la medida provocados por la deformación.

50 En una realización preferente, este recubrimiento interior 13 es cerámico, y con un espesor comprendido entre los 20 y 500 micrómetros. En otra posible realización, este recubrimiento interior 13 es un tubo de 0.4 mm de diámetro, de acero inoxidable y fijado a la fibra óptica 11 con pegamento cerámico. En otra posible realización, el recubrimiento interior 13 es una capa cerámica, moldeada con la forma deseada.

El elemento óptico de transducción revestido por el recubrimiento interior 13, se sitúa parcialmente en el interior de un bloque de protección exterior 14 que presenta al menos un orificio, tal que al menos un extremo de la fibra óptica 11 se sitúa en el exterior del bloque 14 atravesando dicho al menos un orificio, permaneciendo la zona de transducción en el interior del bloque 14. En una posible realización, el bloque de protección exterior 14 presenta dos orificios, tal que el elemento de transducción revestido se sitúa en el interior del bloque 14 atravesando ambos orificios, de modo que la zona de transducción permanece en el interior del bloque 14 y los extremos de la fibra óptica 11 en su exterior. Un experto en la materia entenderá que el dispositivo 10 de la invención está configurado para unirse por al menos uno de los extremos de la fibra óptica 11 a un equipo de interrogación.

El bloque de protección exterior 14, está configurado para la sujeción mecánica y protección de todo el conjunto, es decir, presenta unas propiedades mecánicas que no se degradan ni durante el tratamiento térmico ni durante el uso del dispositivo 10, y presenta un espesor cuyo rango está comprendido entre varios milímetros y varios centímetros. El doble recubrimiento (interior y exterior) permite mantener la integridad mecánica del dispositivo 10 y su sensibilidad a altas temperaturas.

Además, y como se observa en las figuras 2 y 3, este bloque 24, 34 permite la colocación de la fibra óptica 21, 31 en diferentes geometrías (por ejemplo, forma lineal o de "U"), por lo que un experto en la materia entenderá que el elemento de transducción y su recubrimiento interior 23, 33 se deben disponer dentro del bloque de protección exterior 24, 34 en geometrías que favorezcan la transferencia térmica y/o aislen la zona de transducción de posibles tensiones externas, evitando generar deformaciones en el elemento de transducción. Al acoplar el elemento óptico de transducción con su recubrimiento interior 23, 33 en el bloque de protección exterior 24, 34, es importante prestar especial interés a la entrada y salida de la fibra óptica 21, 31: cualquier colocación que pueda deformar el conjunto en exceso, es susceptible de provocar una rotura en la fibra 21, 31. Para ello se plantean geometrías sencillas (rectas, curvas suaves...) que eviten estos problemas, mejorando a la vez la transmisión óptica.

Dependiendo del material del bloque de protección exterior 14, 24, 34, la fibra óptica 11, 21, 31 revestida por el recubrimiento interior 13, 23, 33 se acopla a dicho bloque 14, 24, 34 (por ejemplo, un bloque de acero con un surco mecanizado para tal fin) o el bloque 14, 24, 34 se acopla al recubrimiento interno 13, 23, 33 de la fibra óptica 11, 21, 31 - que no a la fibra óptica, pues es el inconveniente que se ha explicado anteriormente - (por ejemplo, pegamento cerámico, cerámica, gres...), evitando así cortes por cizalladura, problemas de rugosidad, etc.

Tantas protecciones de entrada/salida 15, 25, 35 como orificios presenta el bloque de protección exterior 14, 24, 34, con forma preferentemente cilíndrica, y con aberturas cuyo diámetro es tal que permite el paso de la fibra óptica 11, 21, 31 por su interior, se encuentran ancladas al bloque de protección exterior 14, 24, 34, de tal forma que cada protección de entrada/salida 15, 25, 35 se sitúa de manera que su abertura sea concéntrica con uno de los orificios del bloque 14, 24, 34. De esta forma, el al menos un extremo de la fibra óptica 11, 21, 31 que se encuentra en el exterior del bloque de protección exterior 14, 24, 34, está recubierto, en la parte más en contacto con dicho bloque 14, 24, 34, por una protección de entrada/salida 15, 25, 35, tal que dichas protecciones 15, 25, 35 presentan una menor resistencia mecánica que el bloque de protección exterior 14, 24, 34, lo que permite una flexión parcial cuando se deforma la

fibra óptica 11, 21, 31, evitando cortes por cizalladura. Preferentemente, dentro de las protecciones de entrada/salida 15, 25, 35, se mantiene el recubrimiento interior 13, 23, 33 de la fibra 11, 21, 31 con el fin de evitar posibles tensiones a la zona de transducción.

- 5 Además, para dichas protecciones de entrada/salida 15, 25, 35 se deben emplear materiales y geometrías que ofrezcan una menor resistencia a la deformación a medida que se alejan del punto de anclaje, esto es, las protecciones 15, 25, 35 ofrecen una rigidez gradual a medida que se alejan del bloque de protección exterior 14, 24, 34: las zonas más cercanas al bloque 14, 24, 34 son más rígidas, mientras que las más lejanas se doblan con más facilidad con el fin de no romper la fibra 11, 21, 31. Este efecto puede conseguirse reduciendo gradualmente el espesor de las protecciones 15, 25, 35.

- 15 En una posible realización, las protecciones de entrada/salida 15, 25, 35 son dos tubos metálicos de acero o tungsteno superpuestos de diferente longitud que permiten flexionar la parte exterior más que la interior. En otra posible realización, las protecciones de entrada/salida 15, 25, 35 son un refuerzo en forma de filamento cerámico, tal que el filamento es más grueso en la zona más cercana al bloque de protección exterior 14, 24, 34.

- 20 Por último, el dispositivo 10, 20, 30 de la invención comprende al menos un soporte 16, 26, 36 basado preferentemente en aprisionamiento mecánico unido al bloque de protección exterior 14, 24, 34, configurado para anclar el dispositivo 10, 20, 30 a la superficie sobre la que desee realizar la medida. Un experto en la materia entenderá que el material de dichos soportes 16, 26, 36 depende del rango de temperaturas a monitorizar, siendo posibles realizaciones con anclajes mecánicos sencillos, como tuercas, tornillos, mordazas, etc... de metal (por ejemplo, tungsteno) o cerámica resistentes a muy altas temperaturas (1200°C).

- 30 Dentro de una posible realización de la invención, se emplea como elemento óptico de transducción un FBG que, como se ha descrito anteriormente, sólo refleja ciertas longitudes de onda, por lo que varios dispositivos 10, 20, 30 pueden ser conectados en serie empleando fibra óptica 11, 21, 31 estándar de telecomunicaciones como canal, y centrado cada uno en una longitud de onda diferente. De esta forma, es posible la medición de varios puntos de temperatura a la vez. Dentro de una posible realización de la invención, y como se observa en la figura 4, se produce la multiplexación en longitud de onda de los FBGs, que permite enviar los datos de cada dispositivo 40 codificados en longitudes de onda diferentes. Varios dispositivos 40 de la invención, son interconectados mediante cable de fibra óptica 41 hasta llegar a un equipo de interrogación 47 de FBGs que lanza la luz a la fibra óptica 41 y analiza el espectro a la salida, obteniendo la medida de temperatura de cada sensor. El conjunto de varios dispositivos 40 en serie con diferentes longitudes de onda, puede ser interrogado mediante las diferentes técnicas de interrogación de FBGs que, típicamente, consisten en una fuente de luz, un detector y un acoplador o circulador para conectar ambos dispositivos a la misma fibra óptica.

- 45 Los pasos generales para la fabricación del dispositivo 10, 20, 30, 40 de la invención son: inscripción de la red de difracción 12, 22, 32 en la fibra óptica 11, 21, 31, 41, aplicación del recubrimiento interno 13, 23, 33, aplicación del bloque de protección exterior 14, 24, 34, incorporación de las protecciones de entrada/salida 15, 25, 35 y aplicación del soporte 16, 26, 36. En el caso de que la inscripción se realice mediante un patrón de interferencia centrado en el ultravioleta y sea necesario someter al dispositivo 10, 20, 30, 40 a un tratamiento térmico, es recomendable realizar el tratamiento térmico después de

- la incorporación de cualquier protección (recubrimiento interior 13, 23, 33, bloque de protección exterior 14, 24, 34, protecciones de entrada/salida 15, 25, 35 y soporte 16, 26, 36), siempre y cuando estas sean de un material resistente a muy altas temperaturas. De esta forma, el tratamiento térmico sirve para endurecerlas. En caso contrario, por ejemplo
- 5 cuando el material sea no resistente a muy altas temperaturas, el tratamiento térmico debe realizarse con anterioridad, pues sino se degradarían sus propiedades mecánicas.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (10, 20, 30, 40) basado en fibra óptica (11, 21, 31, 41) para la medida de temperaturas que alcanzan los límites térmicos de la fibra óptica (11, 21, 31, 41), empleando redes de difracción (12, 22, 32) y sometido a un proceso de encapsulado, **caracterizado** por que comprende:

- un elemento óptico de transducción consistente en una fibra óptica (11, 21, 31, 41) en la que en una zona de la misma está inscrita una red de difracción (12, 22, 32), siendo aquella zona del elemento óptico de transducción en la que se encuentra inscrita la red de difracción (12, 22, 32), la zona de transducción;

- un recubrimiento interior (13, 23, 33) que reviste el elemento óptico de transducción al menos en la zona de transducción, configurado para ejercer de capa intermedia que evita que ninguna tracción/presión sea transmitida a la fibra óptica (11, 21, 31, 41), protegiendo las zonas débiles de la fibra óptica (11, 21, 31, 41) y evitando posibles fallos en la medida provocados por la deformación:

- un bloque de protección exterior (14, 24, 34), que presenta al menos un orificio. en cuyo interior se sitúa el elemento óptico de transducción revestido por el recubrimiento interior (13, 23, 33), tal que al menos un extremo de la fibra óptica (11, 21, 31, 41) se sitúa en el exterior del bloque de protección exterior (14, 24, 34) atravesando dicho al menos un orificio. permitiendo la zona de transducción en el interior del bloque de protección exterior (14, 24, 34), tal que la fibra óptica (11, 21, 31, 41) puede disponerse en diferentes geometrías, estando el bloque de protección exterior (14, 24, 34) configurado para la sujeción mecánica y protección de todo el conjunto, es decir, presenta unas propiedades mecánicas que no se degradan, y presenta un espesor cuyo rango está comprendido entre varios milímetros y varios centímetros;

- tantas protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) como orificios presenta el bloque de protección exterior (14, 24, 34), con aberturas cuyo diámetro es tal que permite el paso de la fibra óptica (11, 21, 31, 41) por su interior, y que se encuentran ancladas al bloque de protección exterior (14, 24, 34), de tal forma que cada protección de entrada/salida (15, 25, 35) se sitúa de manera que su abertura sea concéntrica con uno de los orificios del bloque de protección exterior (14, 24, 34), de tal forma que el al menos un extremo de la fibra óptica (11, 21, 31, 41) que se encuentra en el exterior del bloque de protección exterior (14, 24, 34), está recubierto, en la parte más en contacto con dicho bloque de protección exterior (14, 24, 34), por una protección de entrada/salida (15, 25, 35), tal que dichas protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) presentan una menor resistencia mecánica que el bloque de protección exterior (14, 24, 34), lo que permite una flexión parcial cuando se deforma la fibra óptica (11, 21, 31, 41), evitando cortes por cizalladura, y tal que las protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) ofrecen una rigidez gradual a medida que se alejan del bloque de protección exterior (14, 24, 34), siendo las zonas más cercanas al bloque de protección exterior (14, 24, 34) más rígidas, mientras que las más lejanas se doblan con más facilidad con el fin de no romper la fibra óptica (11, 21, 31, 41);

- al menos un soporte (16, 26, 36) unido al bloque de protección exterior (14, 24, 34), configurado para anclar el dispositivo (10, 20, 30, 40) a la superficie sobre la que desee realizar la medida;

estando el dispositivo (10, 20, 30, 40) configurado para poder conectarse a un equipo de interrogación (47) externo; y/o en serie con otros dispositivos (10, 20, 30, 40), empleando la fibra óptica (11, 21, 31, 41) como canal, y centrado cada uno en una longitud de onda diferente, permitiendo la medición de varios puntos de temperatura a la vez.

5

2. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de la reivindicación 1, donde el elemento óptico de transducción es una red de difracción (12, 22, 32) de periodo corto inscrita en fibra óptica (11, 21, 31, 41) estándar de telecomunicaciones.

10

3. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el recubrimiento interior (13, 23, 33) presenta un espesor inferior a 0.5 mm y una rugosidad inferior a 5 µm, de tal forma que no provoque irregularidades en la zona de transducción.

15

4. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el recubrimiento interior (13, 23, 33) reviste la totalidad del elemento óptico de transducción.

20

5. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el recubrimiento interior (13, 23, 33) es cerámico, y con un espesor comprendido entre los 20 y los 500 micrómetros.

6. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el recubrimiento interior (13, 23, 33) es un tubo de 0.4 mm de diámetro, de acero inoxidable y está fijado a la fibra óptica (11, 21, 31, 41) con pegamento cerámico.

25

7. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el recubrimiento interior (13, 23, 33) es una capa cerámica, moldeada con la forma deseada.

30

8. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el bloque de protección exterior (14, 24, 34) presenta dos orificios, tal que el elemento de transducción revestido se sitúa en el interior del bloque de protección exterior (14, 24, 34) atravesando ambos orificios, de modo que la zona de transducción permanece en el interior del bloque de protección exterior (14, 24, 34) y los extremos de la fibra óptica (11, 21, 31, 41) en su exterior.

35

9. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) presentan una forma cilíndrica.

40

10. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) son dos tubos metálicos de acero superpuestos de diferente longitud que permiten flexionar la parte exterior más que la interior.

45

11. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde las protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) son dos tubos metálicos de tungsteno superpuestos de diferente longitud que permiten flexionar la parte exterior mas que la interior.

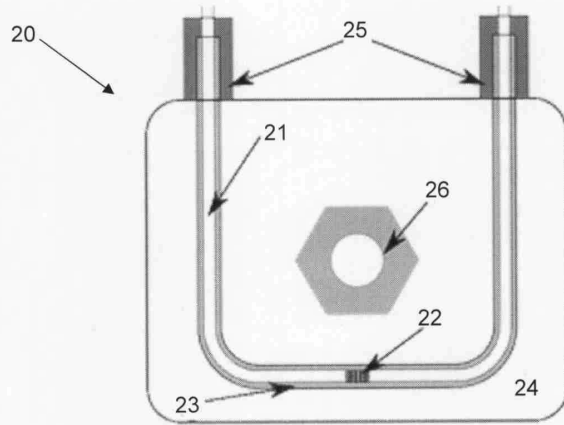
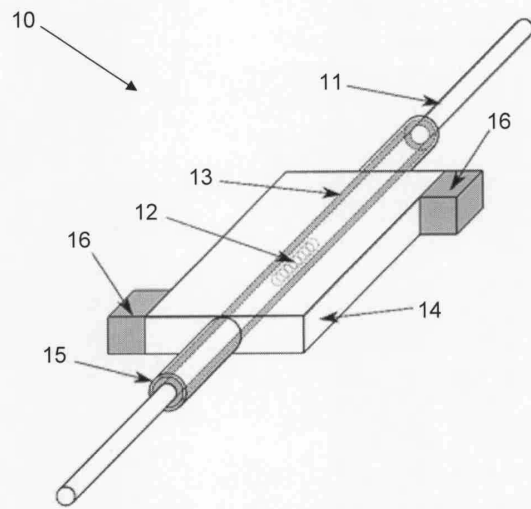
50

12. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde las protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) son un refuerzo en forma de filamento

cerámico, tal que el filamento es más grueso en la zona más cercana al bloque de protección exterior (14, 24, 34).

- 5 13. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el soporte (16, 26, 36) está basado en aprisionamiento mecánico.
- 10 14. Proceso de fabricación del dispositivo (10, 20, 30, 40) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende las etapas de: inscribir la red de difracción (12, 22, 32) en la fibra óptica (11, 21, 31, 41), aplicar el recubrimiento interno, aplicar el bloque de protección exterior (14, 24, 34), incorporar las protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) y aplicar el soporte (16, 26, 36).
- 15 15. El proceso de fabricación de la reivindicación anterior donde en el caso de que la inscripción se realice mediante un patrón de interferencia centrado en el ultravioleta comprende además la etapa de someter al dispositivo (10, 20, 30, 40) a un tratamiento térmico, siendo esta etapa posterior a la incorporación de cualquier protección - recubrimiento interior (13, 23, 33), bloque de protección exterior (14, 24, 34), protecciones de entrada/salida (15, 25, 35) y soporte (16, 26, 36) -, siempre y cuando
- 20 estas sean de un material resistente a muy altas temperaturas, o con anterioridad a la incorporación de cualquier protección cuyo material sea no resistente a muy altas temperaturas.





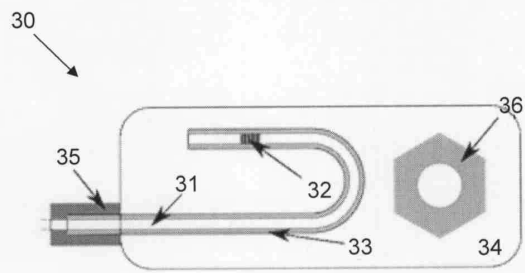


FIGURA 3

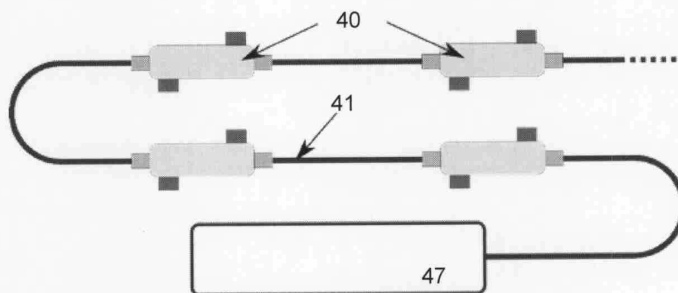


FIGURA 4



- ②① N.º solicitud: 201601097  
②② Fecha de presentación de la solicitud: 20.12.2016  
③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **G01K11/32** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 5399854 A (DUMPHY et al.) 21/03/1995, Columna 1, línea 13 a columna 11, línea 4; figuras 1-16.	1-15
A	JP 2004212438 A (TOTOKU ELECTRIC) 29/07/2004, Resumen; figuras. Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE	1-15
A	CN 101581610 A (UNIV TIANJIN POLYTECHNIC ) 18/11/2009, Resumen; figuras. Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE	1-15

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
23.01.2017

Examinador  
J. Botella Maldonado

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 23.01.2017

**Declaración****Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-15  
Reivindicaciones

SI  
NO

**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones 1-15  
Reivindicaciones

SI  
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 5399854 A (DUMPHY et al.)	21.03.1995
D02	JP 2004212438 A (TOTOKU ELECTRIC)	29.07.2004
D03	CN 101581610 A (UNIV TIANJIN POLYTECHNIC )	18.11.2009

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El documento D01 describe un sensor óptico encapsulado. Presenta distinta capas y una fibra óptica con una rejilla de difracción dispuesta entre las capas. Las capas comprenden filamentos y resina con diferentes coeficientes de expansión térmica y los filamentos se orientan de manera que se crean tensiones residuales transversales desiguales que produce birrefringencia en la rejilla. Cambios en las tensiones transversales debidas a la temperatura provocan un cambio en la birrefringencia de la rejilla a la vez que al expandirse y contraerse según el eje longitudinal se modifican los picos de las longitudes de onda de reflexión. Por lo tanto un cambio de temperatura afecta a los picos y a la distancia entre ellos.

El documento D02 describe una fibra óptica para uso en sensores de fibra óptica resistentes al calor. La fibra óptica se recubre con una capa de poliamida y se inserta dentro en un tubo de poliamida cerrándose los finales de tubo con adhesivo de poliamida. Se consigue gran resistencia al calor y unas características de transmisión en la fibra óptica que no se deterioran al no transmitir el tubo de poliamida esfuerzos de tracción a la capa de poliamida que recubre la fibra óptica.

El documento D03 presenta un sensor de temperatura de fibra óptica con rejilla de difracción encapsulada con una resina polímero de poliéster insaturado y protegiendo el resto de la fibra con un manguito de nylon.

Consideramos que ninguno de estos documentos anticipa la invención tal como se reivindica en las reivindicaciones de la 1ª a la 15ª, ni hay en ellos sugerencias que dirijan al experto en la materia hacia el objeto reivindicado en las citadas reivindicaciones.

Por lo tanto las reivindicaciones de la 1ª a la 15ª poseen novedad y actividad inventiva.